



TITLE:

2018年草津白根山噴火に関する総合調査

AUTHOR(S):

小川, 康雄; 青山, 裕; 山本, 希; 筒井, 智樹; 寺田, 暁彦;
大倉, 敬宏; 神田, 径; ... 山口, 悟; 伊藤, 陽一; 常松, 佳
恵

CITATION:

小川, 康雄 ...[et al]. 2018年草津白根山噴火に関する総合調査. 自然災害
科学総合シンポジウム講演論文集 2018, 55: 25-30

ISSUE DATE:

2018-09-18

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/240598>

RIGHT:

2018年草津白根火山噴火に関する総合調査

小川康雄¹・青山裕²・山本希³・筒井智樹⁴・寺田暁彦¹・大倉敬宏⁵・神田徑¹・
小山崇夫⁶・金子隆之⁶・大湊隆雄⁶・石崎泰男⁷・吉本充宏⁸・石峯康浩⁹・野上健治¹・
森俊哉¹⁰・木川田喜一¹¹・片岡香子¹²・松元高峰¹²・上石勲¹³・山口悟¹³・伊藤陽一¹³・
常松佳恵^{8, 14}

1 東京工業大学理学院火山流体研究センター

2 北海道大学理学研究院

3 東北大学理学研究科

4 秋田大学国際資源研究科

5 京都大学理学研究科

6 東京大学地震研究所

7 富山大学大学院理工学研究部

8 山梨県富士山科学研究所

9 鹿児島大学地震火山地域防災センター

10 東京大学理学系研究科

11 上智大学理工学部

12 新潟大学災害・復興科学研究所

13 防災科学技術研究所・雪氷防災研究センター

14 山形大学理学部

要 旨

2018年1月23日10時02分に草津白根山を構成する3山体（白根山・逢ノ峰・本白根山）の一つである本白根山鏡池北火口で1500年ぶりの噴火が発生し、噴石により人的な被害が発生した。この噴火は顕著な前駆的活動を伴わない水蒸気噴火であった。近年の草津白根火山では、白根山湯釜水釜火口を中心とする水蒸気噴火活動が顕著で、火山観測は白根山に集中している。一方で、今回噴火した本白根山では、これまでの最新の噴火が鏡池北火口での1500年前のマグマ噴火であって、近年、鏡池北火口付近には顕著な地熱活動は記録されていない。今回の突発的な噴火を受けて、以下の3点を明らかにするために総合調査を行った。

（1）顕著な前駆的活動がない水蒸気噴火プロセスの解明

（2）今後の火山活動の推移の予測，特にマグマが噴出する可能性の予測

（3）融雪泥流発生リスクの評価。

これらの研究のために、地震観測，地盤変動観測，熱観測，噴出物観測，地球化学観測，融雪泥流評価を実施した。これまでの研究成果について報告する。

1. はじめに

草津白根火山は、群馬県北西部に位置する活火山で、1805年以来、白根山山頂周辺を中心とする水蒸気噴火活動で知られている(Uto et al., 1983, 寺田,

2018)。これまで地球化学的研究(Ohba et al.,

1994, 2000; Ohwada et al., 2003)や地震学的研究

(Nakano et al., 森ほか, 2006)・測地学的研究(寺

田ほか, 2014), 地球電磁気学的研究(Takahashi and

Fujii, 2011; Ogawa et al., 2016) が行われてきたが、これらの研究は、白根山の湯釜水釜火口周辺に集中していた。

2018年1月23日10時02分に草津白根山を構成する3山体（白根山・逢ノ峰・本白根山）の一つである本白根山鏡池北火口で1500年ぶりの噴火が発生し、噴石により人的な被害が発生した。この噴火は顕著な前駆的活動を伴わない水蒸気噴火であった。近年の草津白根火山では、白根山湯釜水釜火口を中心とする水蒸気噴火活動が顕著で、火山観測は白根山に集中している。一方で、今回噴火した本白根山では、これまでの最新の噴火が鏡池北火口での1500年前のマグマ噴火であって、近年、鏡池北火口付近には顕著な地熱活動は記録されていない。今回の突発的な噴火を受けて、以下の3点を明らかにすることを目的とした。（１）顕著な前駆的活動がない水蒸気噴火プロセスの解明（２）今後の火山活動の推移の予測、特にマグマが噴出する可能性の予測（３）融雪泥流発生リスクの評価。これらのうちで特に（２）（３）については噴火後の防災上重要な課題であり、地元自治体からの社会的な要請が強かった。

2. 観測班の構成

以上の研究内容を遂行するために以下のような観測班を組織した。

①地震観測班

青山裕（北海道大学）山本希（東北大学）筒井智樹（秋田大学）寺田暁彦（東京工業大学）

②地盤変動観測班

大倉敬宏（京都大学）神田径・寺田暁彦（東京工業大学）

③熱観測班

神田径・寺田暁彦（東京工業大学）小山崇夫・金子隆之・大湊隆雄（東京大学）

④噴出物調査班

石崎泰男（富山大学）吉本充宏（山梨県富士山科学研究所）石峯康浩（鹿児島大学）

⑤地球化学観測班

野上健治（東京工業大学）森俊哉（東京大学）木川田喜一（上智大学）

⑥融雪泥流評価班

片岡香子・松元高峰（新潟大学）上石勲・山口悟・伊藤 陽一（防災科学技術研究所）常松 佳恵（山形大学）

3. これまでの進捗状況及び成果

これまで得られた研究成果について以下に述べる。

3.1 地震観測

草津白根山では歴史時代の活動履歴に基づき、白根山湯釜火口周辺での噴火を想定した観測研究に重きが置かれてきた。今回の水蒸気噴火は、観測体制が整っていない本白根山側で発生し、噴火の前兆現象がとらえられなかったと気象庁から報告されている。草津白根山の過去の噴火事例では、水蒸気噴火が繰り返されたことがあり、より大規模な活動への発展の可能性が指摘されている。そのため、本白根火山周辺で手薄になっている地震観測点を緊急的に増設し、リアルタイムで地震波形データを伝送・集約できるテレメータ観測点を本白根山を取り巻く3箇所に設置した。設置作業は、1月27日から30日の間で、東工大・北大・秋田大・東北大のメンバーで行い、臨時地震観測点3点を設置し、設置当日から携帯電話回線を通じた常時テレメータを行い、東工大のデータ処理システムへ観測データを統合し、同時に気象庁へデータ配信を開始し、1月31日からは監視業務でも活用されることとなつて。地震データについては、データの共有化を強力に推進し、4月22日に湯釜近傍で発生した群発地震・傾斜変動イベントに際し、浅部熱水供給系の存在を示唆する長周期地震（卓越周期10秒）を検出するなど、草津白根山全体の火山現象の理解をさらに進めることに貢献している。

3地点の臨時観測点を追加し統合処理することで、本白根火砕丘周辺の地震活動の把握が可能になった。噴火から3か月前までのデータを再解析し、震源の時間空間変化・低周波地震の発生状況等の精査を行った。2018年1月23日噴火前後の火山性地震活動について、2018年1月23日噴火前は検測基準以上のものは月数イベント程度で、主にA型地震であることがわかった。噴火後・臨時観測開始以降は、多数のB型地震とハイブリッド型の地震が発生し、震央は、湯釜周辺と本白根山北側の2領域に集中している。2018年4月下旬には、湯釜周辺の地震活動が一時的に急増するイベントが発生し、本白根側の地震活動が静穏化している。

本白根噴火前の前兆的な微小地震活動については、Matched Filter法による微小地震の検出を行った。特に鏡池北火砕丘周辺の地震活動の様相を明らかにするために、当該領域で発生した地震をテンプレートとして、それらと波形相似性の高い微小地震を検出することによって、通常のルーチン処理に比べ数倍～10倍程度の地震(B型地震)を検出できたが、1月23日噴火直前の急激な地震発生数変化等の前兆的变化は明瞭には認められなかった。また、地震波干渉法による構造変化の推定を行った。噴火前後の火山体構造・熱水系の時間変化の抽出を狙い、草津白根山周辺の定常地震観測点の連続記録（雑微動記録）を

用いた。しかしながら本白根山の噴火前後で有意な変化は認められなかった。

3.2 地盤変動観測

1月23日以降の本白根火山の活動推移を把握するためには、地盤変動観測を観測し、熱水やマグマの動きを監視することが不可欠であるが、噴火当時のGNSSおよび傾斜観測網は本白根山から2kmほど北の白根山湯釜火口周辺に集中していた。そのため、本白根山直下の圧力源や深部の圧力源に対しては検出の分解能が低い。この問題を解決するために、2017年秋に整備してきた繰返し観測点を8箇所の中の5箇所について、連続観測が可能となるように機能強化することを図る。これにより本白根山直下のマグマの動きをリアルタイムに把握できるようになり、マグマ噴火への移行可能性を判断する材料を提供することができる。

本白根山噴火前後の地盤変動については、白根山湯釜をとりまく3点のボアホール観測点と地上観測点2点の傾斜計で詳細が捉えられた。噴火前の9時59分58秒から10時02分10秒まで湯釜南方が隆起を示し、噴火後10時02分10秒から10時10分00秒まで湯釜南方が沈降する傾斜変動が捉えられた。これらを本白根山鏡池北火口の開口クラックで説明することができる。開口量1.7m、噴火前の膨張体積42.5万 m^3 、噴火後の収縮体積30万 m^3 と推定された。

3.3 熱観測

熱観測では、本白根山を中心とする広域の空中磁気測量や熱赤外線撮影を、産業用の無人ヘリコプターを用いて稠密に行い、火山体内部の基盤構造や熱異常分布などを検出することを目指した。

3月19日に本白根火砕丘外側の東～北側斜面について、斜め赤外線画像を取得した。観測した範囲において、顕著な地表面温度異常は認められなかった。その後、草津白根山降灰合同調査班（2018）による5月5日、5月11・12日の現地における温度測定（接触式温度計および赤外線カメラ）でも、本白根火山3つの新火口周辺に地熱異常は認められていない。

火山体を構成する岩石中の磁性鉱物がキュリー点以上の温度になると磁性を失うことを利用して、地球磁場を測定することによって火山の温度構造やその変動を捉えることができる。3月6-7日および6月18日に無人ヘリコプターを用いた空中地磁気測定を行った。本白根山、逢ノ峰、草津白根山上空を対地高度100m測線間隔100mでカバーし、総飛行距離は約100kmに及んだ。2013年に国土交通省の実施した空中磁気測定データとの差を取ることで本白根山2018年噴火前後の変動を求めた。その結果、本白根

山火口周辺に顕著な変動は解明されなかったが、逢ノ峰の深部が消磁する広域的な傾向が見出され、2013年以降、逢ノ峰の深部が高温化していると推定された。

3.4 噴出物調査

噴火直後から3月にかけて、草津白根山降灰合同調査班（2018）による調査、および4月から5月に追加調査がおこなわれた。この調査では定面積法により計100点以上の堆積量データが得られた。1月23日の噴火の降灰は本白根火砕丘群鏡池北火砕丘北側の火口から東北東方向に伸びるような分布を示す。堆積量データを基に、Fierstein and Nathenson（1992）の手法により算出された噴出量は約3.6万トンである。

鏡池北火砕丘北面の2露頭において降灰産状調査が行われた。この2露頭では、1月23日噴火の降灰が積雪（ザラメ）に挟まれた状態で産出する。そのため、いずれの降灰堆積物も、融雪等による改変を受けておらず、噴火当時の堆積構造を保存していると判断される。層内には堆積の休止を示す浸食面や層理面が見られないため、これらの降灰堆積物は噴煙から連続して堆積した降下物層と判断される。2地点共に、全体として正級化構造をもち、降灰の下位には径4～5cmほどの放出岩塊（白丸）が点在することから、噴火初期に放出岩塊が噴出したと判断される。

降灰産状調査をおこなった2地点の火山灰についてXRD分析をおこなった。同定された鉱物種より、火山体内部では強酸性熱水による変質作用が生じていると推測される。また、石英はいずれの試料においても最も含有量が高く、構成粒子として多量に含まれることから、爆発地点の周囲には石英をおもな構成物とする珪化変質帯が広く存在すると予想される。

1月23日噴火では、鏡池北火砕丘頂部の火口内に形成された火口（主火口）とともに、鏡池火砕丘頂部の火口内と鏡池北火砕丘の西麓の2か所に火口が形成された（それぞれ、南火口、西火口とよぶ）。主火口は複数の火口からなる火口列を作っており、各火口のリム部で噴出物層の産状を観察した。各リム部に見られる噴出物層は全体に黒灰色であり、いずれも火山岩塊・ラピリを主体とする。層厚は最大で約3mであり、全体として正級化しているように見える。また、堆積物層中には明瞭な層理面が見られないため、一連の噴火で連続的に堆積したと推測される。各層の基底には噴出物により倒された樹木が見られ、噴火当時の積雪が残っている箇所も見られる。西火口では主火口・南火口とは異なる色調の火山灰も観察された。

1月23日の噴火の放出岩塊について全岩化学組成分析をおこない、既存の本白根火砕丘群のデータ（濁川ほか，2016）と比較した。本白根火砕丘群を構成する各火砕丘は、それぞれ固有の化学組成を有し、特に TiO_2 - SiO_2 図などで明瞭に区分される。1月23日の噴火の放出岩塊は、 SiO_2 に乏しく TiO_2 に富むという鏡池北火砕丘の特徴と一致した。

放出岩塊は主火口の北西～東北東に約500mまでの範囲に分布し、特に北～北東にかけて集中的に分布する。今回の調査で最も火口から離れた放出岩塊の確認地点は鏡池北の主火口中心から東北東約600m地点（振子沢）である。この方向の限界については吉本ほか（2018）で示されたゴンドラ搬器の損傷限界と整合的である。北西側は、主火口から約500m地点（ロープウェイ山頂駅西150m）、南東側は主火口から約450m地点まで放出岩塊が確認される。

長径64mm以上の放出岩塊の降下個数密度は、測定できた中で最も多かった主火口の東250m地点で 1m^2 あたり33個であった。この地点より北東側、火口近傍では個数密度が急激に増え、粒径も1mを超える岩塊が散見される。火口の北西から北東にかけての400m付近を境に、急激に個数密度が小さくなる。西から北西の分布限界では、個数密度 1m^2 あたり0.2～0.01個とすくないものの、長径約20cmを超えるものが点在する。一方、それより小さい粒径の岩塊は存在しない。東側の分布限界では鏡池北火口の東側から急激に個数密度が小さくなり、こぶし大の放出岩塊が散見される。

本調査で観察された放出岩塊のうち長径約20cmの岩塊の最大水平飛距離は400～550m、長径50cmの岩塊は350m、長径100cmの岩塊は250mである。初期速度を見積もったところ、直径200mm、到達距離500mとすると初期速度は少なくとも約76m/s、直径500mm、到達距離350mでは約60m/s、長径1000mm、到達距離250mでは約50m/sと推定された。

噴火時には、草津白根国際スキー場のロープウェイ40器が運行されており、そのうち28器が山麓駅に22器が山頂駅に格納された。本調査では、山麓駅に格納されていた40器のうち噴火当時使用されていた28器の被害状況を調査した。ロープウェイ山頂駅や搬器の火口と反対側部分に損傷があることは、噴石が比較的高い位置まで運ばれて落下してきた可能性が示唆される。

今回の噴火によって本白根山の鏡池北火砕丘から発生した噴煙は、草津町企画創造課が草津温泉スキー場山頂駅に設置したライブカメラで撮影されていた。その映像には、噴煙下部からノーズ構造を持ちながら斜面に沿って広がる流れが映っている。この映像を画像処理し、水平速度を求めたところ約10m

/sだった。これは、サージに先行して同じ方向のやや高い位置から広がる噴煙の2倍から3倍程度の速さである。また、ロープウェイのゴンドラに付着した火山灰の状況を確認したところ、山頂側では、火口に近い南側もしくは西側の窓に多くの火山灰が付着しているものが多かった半面、山麓側では、南側には火山灰があまり付着していないに関わらず、火口と反対側の北側の窓に顕著な火山灰の付着が見られるゴンドラが見られた。これは、ロープウェイの山麓側の経路の北側に谷筋があり、この谷地形に沿って、噴煙の一部が流れ下ったことと整合的である。すなわち、ノーズ構造を持ち地面を這う流れは小規模な火砕サージだったと考えられる。ただし、この流れの経路でも噴火発生当時に降り積もっていた。雪が解けていた形跡は見当たらないことから、温度はかなり低かったものと考えられる。

3.5 地球化学観測

噴火に伴う熱水環境の変化の検出のために本白根山周辺源泉及び白根山湯釜火口の湖水の繰り返し観測を実施した。本白根山麓の殺生河原から放出される噴気ガス組成について、繰り返し観測を実施した。また、殺生ヶ原にUV分光計を設置し、遠隔測定により新火口からの SO_2 放出の監視観測を実施した。

火山灰に付着した水溶性成分の化学分析から、1月23日の水蒸気噴火に関与した火山ガスの成分や温度を推定することができる。F、Cl、 SO_4 の分析の結果、草津白根山の湯釜あるいは本白根山山麓の万代鉱の熱水系に関与している火山ガスとは、異なる成分のガスであることが判明した。高温のマグマ起源のガスと推定される。本白根山中腹の殺生ヶ原や万代鉱の繰り返し観測を行ったが1月23日の噴火前後で顕著な変動は観測されていない。

3.6 融雪泥流評価

融雪泥流評価のため、噴出物の物性分析を行い、河川モニタリング機器を設置し、積雪水量分布調査を行った。空中写真と現地調査から噴石起因の雪崩や発生状況を図化し、噴石による融雪や雪崩発生の可能性を検討した。

冬期に積雪をともし火山では、噴火時に発生する融雪火山泥流だけでなく、噴火後の降雨や融雪に誘引される泥流発生のリスクが、噴火直後からしばらくの間高まる。2014年9月の御嶽山噴火では直後の融雪期である2015年4月20日に激しい降雨と融雪にともなう泥流が発生した。このようなことも踏まえ、複数の火山泥流発生シナリオに基づく、泥流流下モデルを作成した。

シミュレーションでの入力値には、なるべく実態に即すように、草津白根火山周辺における1月下旬・3月中旬での積雪調査結果(実測値)や火山噴出物(火山灰)の物理特性(実測値)を用い、火山灰分布については、予知連が発表した分布図に基づいた。大雨が降ることを想定したシミュレーションでは、1時間に100mmの降雨(極めて激しい降雨)があったと仮定した。また、連続雨量や融雪量は、御嶽山の例を参考としている。

なお、いくつかの想定によるシミュレーションを試行した。泥流流下シミュレーションでは、ソフトウェアとしてTitan2Dを使用し、固体と液体の二相流モデルを用いた。地形情報は国土地理院の縦横5m間隔の数値標高データに基づいた。シミュレーションの際に用いた初期入力値は以下の通りとした。谷沢川上流の振子沢流域の最上流で、今回の噴火口周辺を発生地点とし、面積に層厚(または降水量)を乗じた1)液相(雨・融雪水)の体積、2)固相(噴出物・雪粒子)の体積を用い、3)内部摩擦角は、噴出物試料の安息角の実測値を用いた。4)底面摩擦角については、10度、20度、25度とした。講演ではそのうち、25度の結果を示す。

また、想定される泥流発生を以下の3パターンとして計算を行った。想定A:融雪期の激しい降雨と融雪にともなう泥流(積雪はほぼ融雪水に変わる)。想定B:融雪期のシャーベット状泥流(層厚50cmの火山灰が、その上に積もった雪が雨や泥水とともに流れ出す。雪泥流を含む)。想定C:1月23日と同等量の小規模噴火による融雪泥流(積雪はほぼ融雪水に変わる)。

計算の結果、以下のリスク評価を得た。いずれの想定でも振子沢と振子沢一清水沢の間の沢に泥流が流下する可能性が高く、また一部の想定では、谷沢川にまで流入する可能性がある。また、国道292号(志賀草津高原ルート)と泥流の通過が交差する地点が見られた。

想定AやBのように激しい降雨の際に発生する泥流については、天気予報の情報などから、発生の可能性の高まりを推定することができる。連続雨量や時間雨量が大きくなった際には、危険箇所における通行を規制するなどの対策をとることが望まれる。

マグマ噴火の際の泥流は、火口より多方向に発生する可能性が高いこと、噴出量に応じて泥流の規模が大きく異なるため、想定Cとその結果は限定的なものである。

4. おわりに

以上のように、2018年1月23日に1500年ぶりに発生した本白根山の水蒸気噴火を受けて行った緊急観測研究について、その経過報告および現時点での研究成果を取りまとめた。水蒸気噴火は、マグマ噴火に比べて噴火の規模は小さいが、浅部で発生し前兆現象も捉えにくいと、今後とも重要な研究テーマである。長期的かつ広域的な監視観測研究や、地質学的な時間スケールによる研究の重要性が認識された。

謝 辞

文部科学省科学研究費補助金特別研究促進費「2018年草津白根山噴火に関する総合調査」(17K20141)による助成を受け、平成29年度および平成30年度に実施した研究の現時点までの成果をまとめたものである。また、文部科学省による「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」および「次世代火山研究・人材育成総合プロジェクト」の支援も受けた。

参考文献

- 宇都浩三・早川由紀夫・荒牧重雄・小坂丈予 (1983): 草津白根火山地質図, 火山地質図 No.3, 地質調査所, 10p
- 草津白根山降灰合同調査班 (2018): 草津白根火山2018年1月23日噴火による降灰分布, 火山噴火予知連絡会資料
- 寺田 暁彦・神田径・大倉敬宏・小川康雄 (2018): 草津白根山・湯釜火口湖地下浅部への流体供給: 2014年3月以降の群発地震に伴う地殻変動と湖底熱活動の変化, 日本火山学会講演予稿集, B1-33
- 寺田暁彦(2018)水蒸気噴火発生場としての草津白根火山. 地質学雑誌, 124, 251-270,
- 濁川暁・石崎泰男・亀谷伸子・吉本充宏・寺田暁彦・上木賢太・中村賢太郎, 草津白根火山本白根火砕丘群の完新世の噴火履歴, 日本地球惑星連合2016年大会予稿集, SVC48-11
- 森健彦・平林順一・野上健治・鬼澤真也 (2006): 草津白根山における新たな地震観測システムの構築, 火山, 第51巻, 第1号, 41-47.
- 吉本充宏・本多亮・小森次郎・石峯康浩・山田浩之 (2018): 草津白根火山, 本白根山2018年噴火の放出岩塊による被害調査の速報, 地球惑星科学連合大会, 幕張, 千葉
- Fierstein, J. and Nathenson, M. (1992): Another look at the calculation of fallout tephra volumes, Bull. Volcanol., 54, 2, 156-167.
- Ogawa, Y., Nurhasan, Tank, S. B., Terada, A., Kanda, W., Nogami, K. (2016): Three dimensional magnetotelluric modeling of Kusatsu-Shirane volcano and its implications for recent volcanic unrest,

- presented at AGU Fall meeting, San Francisco, USA.
- Ohba, T., Hirabayashi, J. and Nogami, K. (1994), Water, heat and chloride budgets of the crater lake, Yugama, at Kusatsu-Shirane volcano, *Geochem. J.*, 28, 217–231.
- Ohba, T., Hirabayashi, J., and Nogami, K. (2000), D/H and $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ratios of water in the crater lake at Kusatsu-Shirane volcano, Japan, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 97, 329–346.
- Ohwada, M., Ohba, T., Hirabayashi, J., Nogami, K., Nakamura, K. and Nagao, K. (2003): Interaction between magmatic fluid and meteoric water, inferred from $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ and $^{36}\text{Ar}/\text{H}_2\text{O}$ ratios of fumarolic gases at the Kusatsu-Shirane volcano, Japan, *Earth Planets Space*, 55, 105–110, 2003.
- Nakano, M., Kumagai, H., and Chouet, B. A. (2003): Source mechanism of long-period events at Kusatsu-Shirane Volcano, Japan, inferred from waveform inversion of the effective excitation functions, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 122, 149–164.
- Nurhasan, Ogawa, Y., Ujihara, N., Tank, S. B., Honkura, Y., Onizawa, S., and Mori, T. (2006): Two electrical conductors beneath Kusatsu-Shirane volcano, Japan, imaged by audiomagnetotellurics, and their implications for the hydrothermal system, *Earth Planets Space* 58, 1053–1059.
- Takahashi, K. and Fujii, I. (2014), Long-term thermal activity revealed by magnetic measurements at Kusatsu-Shirane volcano, Japan, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 285, 180–194.